

# 中炭素鋼のドリル加工性に及ぼすミクロ組織および冷間加工の影響

常陰 典正 \*1・平岡 和彦 \*1・濱田 兼彰 \*2

Effects of Microstructure and Cold Working on Drillability of Medium Carbon Steel  
Norimasa Tsunekage, Kazuhiko Hiraoka and Kaneaki Hamada

Synopsis: The effects of microstructure and cold working on drillability of medium carbon steel were investigated. To investigate the effect of microstructure, the steels of which microstructures were varied into spheroidizing pearlite and coarse or fine lamellar pearlite were used for the drillability test. On the other hand, to investigate the effect of cold working, cold drawn steels (10%-reduction) which were treated by several stress relief annealing (873-973K) were used for drillability tests. As a result, it was found that the best microstructure for drillability was coarse lamellar pearlite, and the drillability of the steel can be greatly improved by cold working.

Key words: microstructure; cold working; cold drawing; medium carbon steel; drillability; machinability; coarse lamellar; drill life.

## 1. 緒言

中炭素鋼は部品への加工工程の違いや、後に高周波焼入を行うか否かにより、さまざまなミクロ組織や硬さの状態での切削加工が施されている。中炭素鋼の被削性が、球状化焼なまし、完全焼なまし、焼ならしなどの大まかな熱処理方法の違いによってミクロ組織および硬さが変化することにより、著しく変化することは従来から知られている<sup>1)</sup>。また、低炭素鋼のように延性の高い材料では冷間加工が被削性改善に寄与すると考えられているが<sup>2)</sup>、中炭素鋼においては不明な点が多い<sup>1, 3~5)</sup>。実際の作業現場では、被削材の微妙なミクロ組織の差異および冷間加工の影響などが原因と考えられる工具寿命の変動が見られ、最適状態で切削するためには、これらの影響をさらに細かく検討する必要がある。

本報では、ドリル加工性に優れる中炭素鋼のミクロ組織および硬さを検討するために、ドリル加工性に及ぼす①種々の焼なましミクロ組織と硬さ、および②焼なまし後の冷間加工（加工硬化）の影響を調査した。その結果、当該鋼のドリル加工性において極めて明確なミクロ組織依存性があること、および冷間加工を施すことによってドリル加工性が改善される事を見出したので報告する。

## 2. 供試材および実験方法

### 2・1 供試材

本実験では、供試材としてTable 1に示す化学成分の中炭素鋼を、90t電気炉で溶製後、連続鑄造、製品圧延を行い、Fig.1の①および②に示す2種類の工程で調製した後、被削性試験に用いた。①はドリル加工性に及ぼすミクロ組織の影響を検討するための材料であり、②はドリル加工性に及ぼす冷間加工（加工硬化）の影響を検討するための材料である。

### 2・2 実験方法

#### 2・2・1 ドリル加工性に及ぼすミクロ組織の影響

Fig.1の①に示すように、圧延ままφ63棒材を用いて、Fig.2に示すヒートパターンで球状化焼なまし（以後、S. A.と記す）、または最高加熱温度を1003~1143Kに変化させた焼なましを行ない、種々のミクロ組織および硬さの材料を得た。これらをドリル加工性試験に供した。

Table 1. Chemical compositions of steel used.

C	Si	Mn	P	S
0.57	0.28	1.53	0.014	0.029

(mass %)

\*1 技術研究所特殊鋼研究室

\*2 技術研究所特殊鋼研究室（現：SKJ）

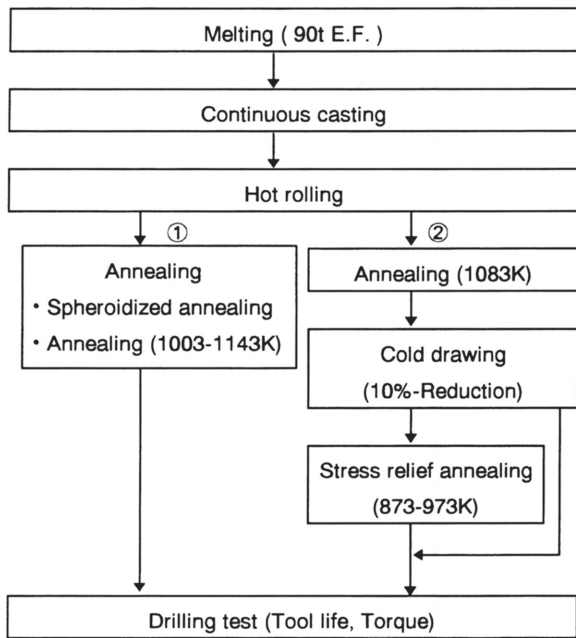


Fig.1. Experimental procedure.

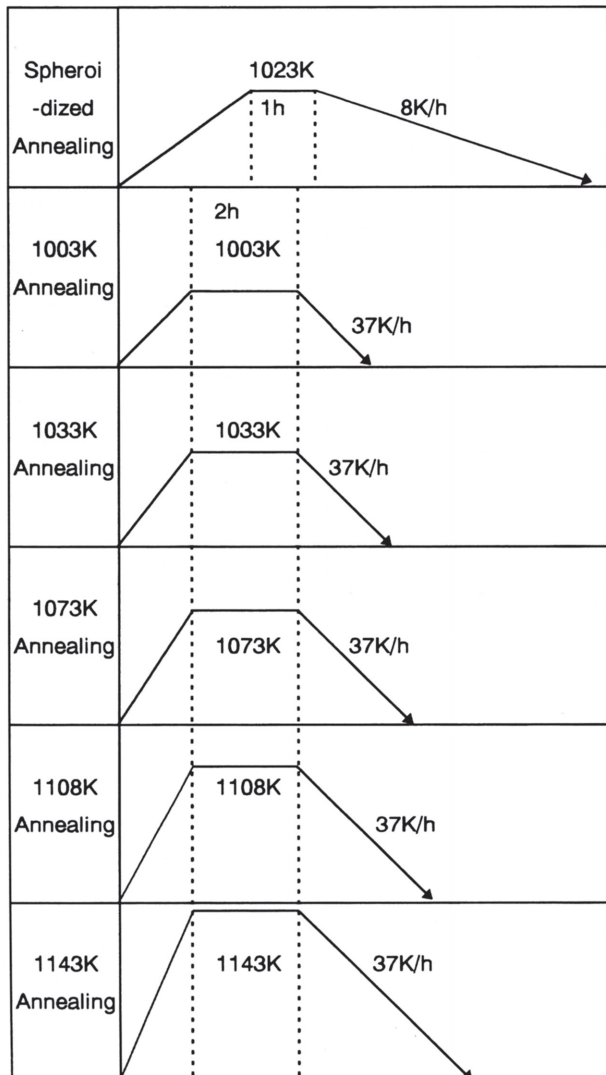


Fig.2. Annealing heat pattern.

### 2・2・2 ドリル加工性に及ぼす冷間加工の影響

ドリル加工性に及ぼす冷間加工による加工硬化の影響を調べるため、Fig.1の②に示すように、1083Kで焼なましを行った後、減面率10%の冷間引抜きを行ない、873~973K-4h加熱後空冷の応力除去焼なましを施し、冷間加工による加工硬化を段階的に除去した材料、および冷間引抜きまま材を用意し、ドリル加工性試験を行った。

### 2・2・3 ドリル加工性試験方法

ドリル加工性試験として、ドリル寿命試験およびドリル穿孔抵抗測定試験を行った。ドリル寿命試験では、Table 2に示す条件でドリルが溶損あるいは折損するまでの穿孔個数を調べ、これを3回繰り返した。ドリル穿孔抵抗測定試験では1条件当り4穴穿孔し、その2~4穴目の計3穴の穿孔抵抗測定を行ない、その平均値を求めると共に、採取した切屑の厚さ(試料数10)を測定した。なお、ドリル加工の場合、被削材によって最適切削条件(切削速度、送り等)が変化するため、切削条件を固定しての比較は必ずしも適当ではないとも考えられるが、今回のように微妙なマイクロ組織の差を比較するには一定条件での比較で十分であると判断した。

Table 2. Cutting conditions of drilling test.

Tool	SKH51, φ 8, 118° point angle
Feed	0.2mm/rev
Cutting speed	29.7m/min
Depth of hole	20mm (Blind)
Cutting fluid	Dry
Tool life criterion	Failure

## 3. 実験結果および考察

### 3・1 ドリル加工性に及ぼすマイクロ組織の影響

圧延材を焼なましして得られた材料のマイクロ組織のSEM写真をFig.3に示す。また、Table 3にその硬さを示す。その結果、S.A.を施した材料の硬さが最も軟らかく86.8HRBであり、マイクロ組織は球状化炭化物組織となっている。1003Kで焼なましを行った材料は、圧延後に存在したラメラパーライトが一部残留している球状化炭化物組織であり、焼なまし温度を上昇させるにつれて組織は粗いラメラから微細なラメラパーライトになり硬さも上昇する傾向が認められ、1143Kで焼なましを行った材料の硬さは94.7HRBである。また、参考のために用いた焼ならし(1108K-2h加熱後空冷)材のマイクロ組織が最も微細なラメラパーライトで硬さも最も硬く100.2HRBである。

Fig.4はこれらの材料を用いてTable 2の条件でドリル寿命試験を行った結果を硬さで整理したものである。各プロットは3回の試験結果の平均値、最大値および最小値を示し



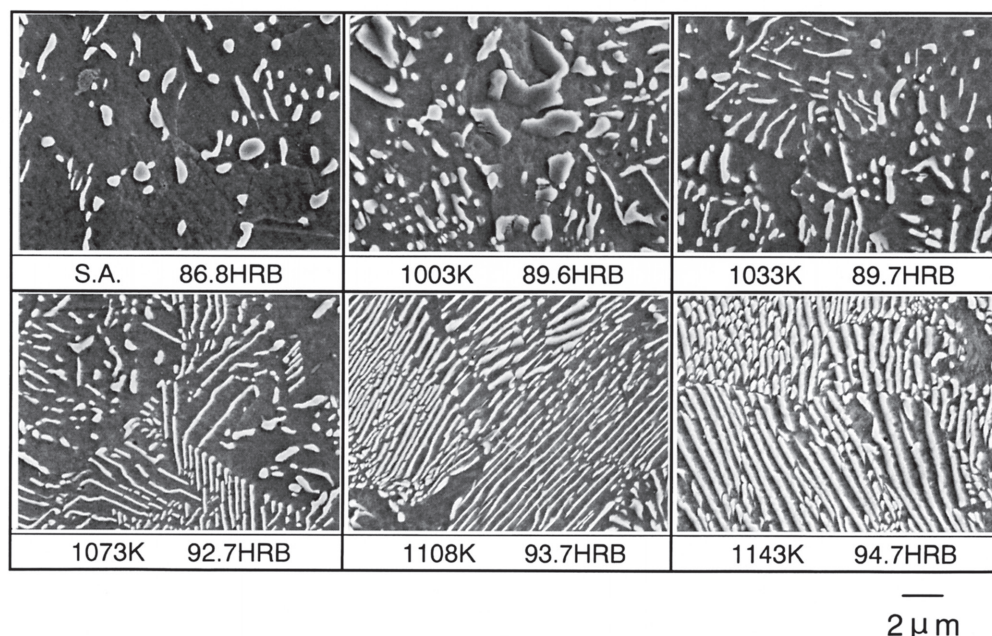


Fig.3. Microstructures and hardness after various annealing.

Table 3. Hardness of specimens after various annealing.

	Annealing temp. (K)	Hardness (HRB)
	1023(S.A.)	86.8
Hot rolling	1003	89.6
↓	1033	89.7
Annealing	1073	92.7
	1108	93.7
	1143	94.7
Cold drawing	as drawing	100.1
↓	873	98.2
Stress relief	923	96.7
annealing	973	94.3

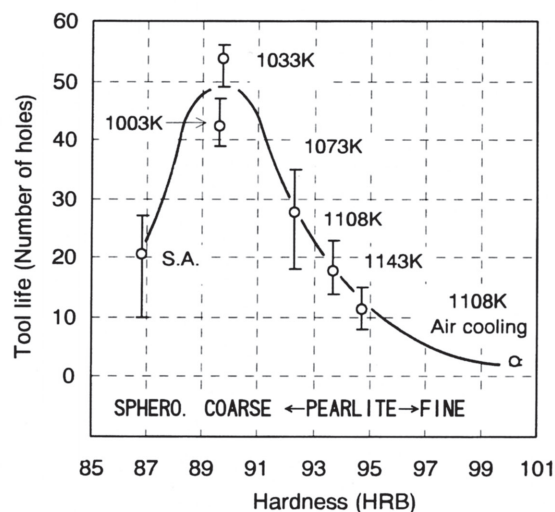


Fig.4. Relationship between tool life in drilling and hardness after annealing or normalizing.

ている。Fig.4より、1033Kで焼なましを行った場合に最も優れたドリル寿命が得られ、それ以上の温度の焼なましでは、硬くなるほど、即ち粗いラメラーから微細なラメラーパーライトになるほどドリル寿命は劣化し、焼ならし材のドリル寿命が最も悪いことがわかる。一方、S.A.を行った材料については最も低い硬さであるにもかかわらず、ドリル寿命は粗いラメラーパーライトの材料よりも低下する傾向が認められる。

1033K焼なまし材のドリル寿命が最も良好である理由に

ついては、本実験範囲内では明確にできないが、被削材側から見たドリル寿命に影響を及ぼす要因として、被削材の強度や延性が挙げられる。すなわち、硬い材料ほど工具の機械的摩耗は多くなり、ねばい材料ほど刃先にねばりついて刃先温度を上昇させ、工具の熱摩耗を促進させる<sup>6)</sup>。また、これらが影響して、切屑排出性や穿孔穴拡大代およびドリルの振れ等を変化させている可能性もある。いずれにせよ、当該材においては1033K焼なまし材のマイクロ組織および硬さがこれらの要因に最も適していたと考えられる。



### 3・2 ドリル加工性に及ぼす冷間加工の影響

#### 3・2・1 ドリル寿命と冷間加工との関係

冷間引抜き材に種々の温度の応力除去焼なましを施し、マイクロ組織および硬さを調査した。その結果をFig.5およびTable 3に示す。引抜きまま材はフェライト+パーライト組織で、硬さは100.1HRBである。応力除去焼なましを行った場合、応力除去焼なまし温度が高いものほど硬さは低くなり、973Kの場合に94.3HRBと最も軟らかい。これは応力除去焼なまし温度を高くするほど、冷間加工による加工硬化の影響が除去されたためと考えられる。マイクロ組織については、応力除去焼なまし温度が高くなるにつれてラメラパーライトがわずかに球状化していることが認められるが、本試験の目的に著しい影響を及ぼさないものと考えられる。

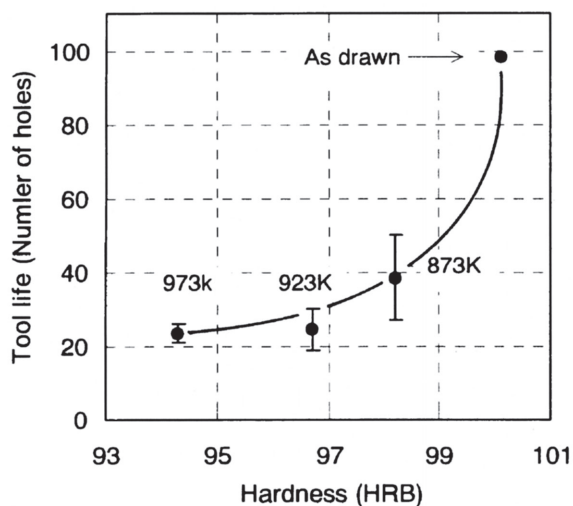


Fig.6. Effect of hardness after stress relief annealing on tool life in drilling.

Fig.6はこれらの材料を用いてドリル寿命試験を行なった結果を硬さで整理したものである。試料数1の引抜きまま材を除き、各プロットは3回の試験結果の平均値、最大値および最小値を示している。その結果、応力除去焼なまし温度を低くするほど、つまり冷間加工の影響が大きく硬いものほどドリル寿命は向上し、最も硬い引抜きまま材のドリル寿命が最も優れている。

一般に、冷間加工と被削性との関係については、低炭素鋼などの延性の高い材料に冷間加工を施すと被削性が向上すると言われているが、中炭素鋼レベルの材料ではむしろ被削性は低下するという報告<sup>3)</sup>もある。そこで、さらに冷間加工と被削性との関係を調査するために、ドリル穿孔時の切削抵抗と切屑厚さについて検討を行った。

#### 3・2・2 ドリル穿孔抵抗および切屑厚さと冷間加工との関係

鋼を冷間加工すると、硬さは上昇し、延性と加工硬化指数は低下する<sup>4)</sup>。そこで、冷間加工が切削抵抗や切屑厚さにどのような影響を及ぼすかを検討するために、3・2・1で行ったドリル寿命試験と同様の条件でドリル穿孔抵抗(トルク)とその際に生成した切屑の厚さを調査した。その結果をFig.7およびFig.8に示す。Fig.7より、応力除去焼なまし温度が低く硬さが増すほどトルクは減少する傾向が認められ、引抜きまま材の場合にトルクが最も小さい。また、切屑厚さについてはFig.8より、応力除去焼なまし温度が低くなるにつれて切屑厚さは減少する傾向が認められ、引抜きまま材の切屑厚さが最も薄いことがわかる。

これらの結果は、本実験の切削条件が一定であることを考慮すると、Fig.9の切屑生成域概念図に示すように、冷間加工により材料の延性が減少して切屑生成時のせん断角が増加し、このために切削抵抗が減少して工具寿命の延長につながったと考えられる。

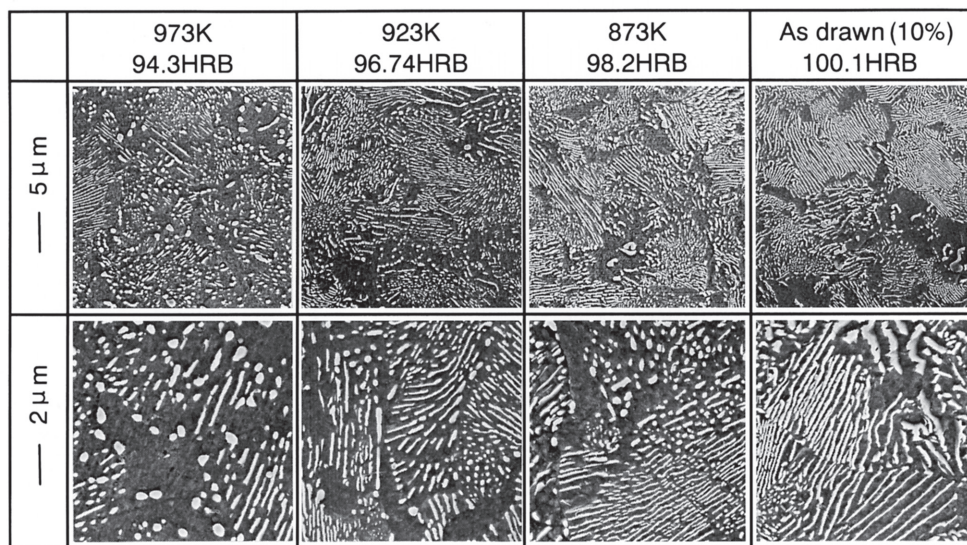


Fig.5. Microstructures and hardness after stress relief annealing.

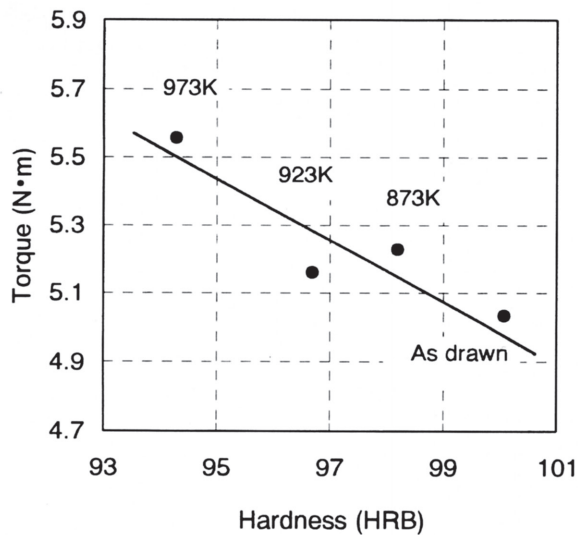


Fig.7. Effect of hardness on torque in drilling after stress relief annealing.

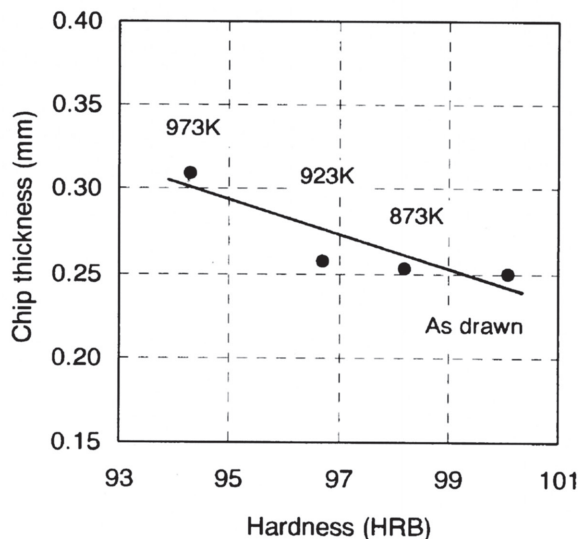


Fig.8. Effect of hardness on chip thickness after stress relief annealing.

#### 4. 結論

中炭素鋼のドリル加工性に及ぼすマイクロ組織および冷間加工の影響について検討を行った結果、次の知見を得た。

(1) 当該材を種々の焼なましにより、球状化炭化物組織、

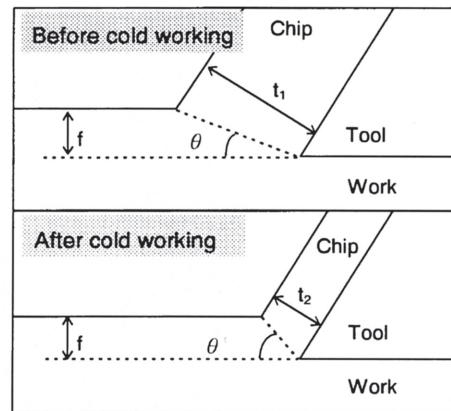


Fig.9. Schematic diagram of shear plane before and after cold working.  $\theta < \theta' \Rightarrow t_1 < t_2$

粗いラメラパーライト組織ならびに微細なラメラパーライト組織に変化させ、ドリル寿命試験に供した結果、粗いラメラパーライト組織が最もドリル寿命において優れていた。

- (2) 1083Kでの焼なまし後に10%減面率の冷間引抜きを施した場合、引抜きまま材のドリル寿命が最も優れていた。また、応力除去焼なましを施せば、その温度が高いほどドリル寿命は劣化した。すなわち、冷間加工の影響を残すほどドリル寿命は向上する。
- (3) 冷間加工による影響が残っているものほどドリル穿孔抵抗(トルク)は減少し、切屑厚さも薄くなる。これは材料の展延性が冷間加工によって減少し、切屑生成時のせん断角が増大したためと考えられる。

以上の結果より、マイクロ組織として粗いパーライトにするほどドリル寿命は良好となり、また、冷間加工の影響を残すほどドリル寿命が向上することが判明した。

#### 文献

- 1) 山本俊郎, 熊谷憲一: 鉄と鋼, 59 (1973), 100.
- 2) M.L.Pickett, D.J.Naylor: Ironmaking and Steelmaking, 17 (1990), 203.
- 3) 山口善弘, 下畑隆司, 喜多壮大: 神戸製鋼技報, 24 (1974), 16.
- 4) 阿部山尚三, 木村篤良, 中村貞行: 電気製鋼, 51 (1980), 188.
- 5) 阿部山尚三, 木村篤良, 中村貞行: 電気製鋼, 54 (1983), 84.
- 6) 荒木透, 山本重男: 鉄と鋼, 57 (1971), 1912.